
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 12 NOMOR 3

DESEMBER 2016

Analisa Masuknya Gardu Induk Anggrek dan Rekonfigurasi Jaringan terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya (Studi Kasus PLN Rayon Kwandang Area Gorontalo) 83-91

Muammar Zainuddin dan Luthfi Wiraputra

JRE	Vol. 12	No. 3	Hal 73–118	Banda Aceh, Desember 2016	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	------------------------------	--------------------------------------

Analisa Masuknya Gardu Induk Anggrek dan Rekonfigurasi Jaringan terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya (Studi Kasus PLN Rayon Kwandang Area Gorontalo)

Muammar Zainuddin¹ dan Luthfi Wiraputra²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo
Jl. Ahmad Nadjamudin No. 17, Kota Gorontalo 96128

²PT. PLN (Persero) Area Gorontalo
Jl. Jend. Sudirman No. 63, Kota Gorontalo 96128
email: muammarzainuddin@gmail.com

Abstrak—Kualitas tegangan listrik pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 kV dengan panjang saluran $\pm 190,57$ km di daerah Kabupaten Gorontalo Utara saat ini masih belum memenuhi standar mutu pelayanan PLN. Hal ini mengakibatkan turunnya nilai tegangan ketika terjadi beban puncak yaitu sebesar 21% dari tegangan nominalnya 20 kV dan rugi-rugi daya teknis sebesar 219 kW. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi terbaik memperbaiki kualitas tegangan yang sesuai dengan standar operasi pelayanan. Perbaikan tegangan dilakukan dengan menganalisa aliran daya pada setiap bus menggunakan metode Newton-Raphson. Ada tiga skenario yang digunakan dalam analisa aliran daya yaitu skenario-1 dengan mengusulkan uprating penghantar (penyulang LK.01), skenario-2 merekonfigurasi jaringan setelah masuknya Gardu Induk Anggrek dan skenario-3 menguprating penghantar dan rekonfigurasi jaringan. Dari ketiga skenario yang diusulkan ditemukan, skenario-1 dapat memperkecil jatuh tegangan menjadi 19,8%, skenario-2 memiliki jatuh tegangan sebesar 8,8%, dan skenario-3 memiliki jatuh tegangan yang paling kecil yaitu sebesar 4,8%. Dari ketiga skenario ini, skenario-3 dapat memperbaiki tegangan saluran jauh lebih baik dari dua skenario lainnya dan menghasilkan rugi-rugi daya sebesar 52,4 kW. Masuknya GI Anggrek harus disertai dengan uprating penghantar pada jaringan 20 KV untuk mencapai batas standar tegangan operasi.

Kata kunci: *uprating penghantar, rekonfigurasi, kualitas tegangan, rugi-rugi daya*

Abstract—The quality of the overhead distribution voltage with a length of $\pm 190,57$ kms, in the North Gorontalo district has not met the National Standard for the distribution voltage yet. This causes a voltage drop along the distribution line at 21% during the peak load and the power loss at 219 kW. This paper aims to find the best solution for improving the voltage quality of the distribution line to meet the standard operation voltage for the medium distribution line. The Newton-Raphson method is used to analyze the power flowing along the distribution line and the voltage at their buses. There are three scenarios purposed in this study. The first scenario is to uprate the conductor size (in LK. 01 feeder), the second scenario is to reconfigure the distribution network after the Anggrek Substation was connected to the system and the third scenario is to combine the first and the second scenarios, i.e. uprating conductors and reconfiguring the network. From the three scenarios, the results show that the first scenario has a voltage drop of 19,8%, the second scenario causes a voltage drop of 8,8% and the third scenario produces the voltage drop of 4,8%. Based on this results, it can be concluded that the third scenario can improve the line voltage much better than the other two scenarios with the power loss of up to 52,4 kW. The Entry of Anggrek Substation must accompany by conductor uprating in line distribution to reach limit voltage standard operation.

Keywords: *conductor uprating, reconfiguration, voltage quality, power losses*

I. PENDAHULUAN

Penyaluran tenaga listrik sangat memegang peranan penting dalam pertumbuhan perekonomian suatu negara. Oleh karena itu, penyaluran tenaga listrik dari perusahaan listrik negara tidak boleh terputus selama 24 jam. Pemadaman akan berpengaruh terhadap kontinuitas serta kualitas penyaluran tenaga listrik ke pelanggan[1]. Dalam hubungannya dengan kualitas pelayanan, unsur terpenting

yang menjadi tolak ukurnya adalah kontinuitas layanan dan kualitas tegangan pelayanan. Kualitas tegangan pelayanan ialah perubahan nilai tegangan pelayanan pada kerja normal terhadap nilai tegangan nominalnya[2]. Apabila kualitas tegangan tidak sesuai dengan yang telah ditentukan, maka akan mempengaruhi tegangan yang diterima oleh konsumen dan rugi-rugi daya yang ditanggung oleh perusahaan penyedia listrik semakin besar. Dari permasalahan tersebut maka perlu dilakukan

suatu tindakan yang dapat memperbaiki kualitas tegangan.

Gadu Induk (GI) sebagai komponen utama dalam sistem tenaga listrik memegang peranan penting dalam penyaluran daya listrik ke konsumen. Gardu Hubung (GH) merupakan bagian penyalur dan pembagi sistem tenaga listrik yang menghubungkan GI dengan penyulang (Feeder) yang akan dilayani bebannya. Tingkat kebutuhan energi listrik dipengaruhi beberapa faktor antara lain yaitu faktor ekonomi, penyebaran penduduk dan faktor kewilayahan. Apabila beban listrik yang ditanggung oleh GI lebih besar dari kapasitasnya, maka GI akan mengalami *overload* yang berakibat pada suplai daya listrik dapat menjadi terganggu[3]. Selain besarnya beban listrik yang ditanggung oleh GI, luas area pelayanan GI juga dapat mempengaruhi kualitas tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik. Oleh karena meningkatnya beban listrik dan luas area pelayanan yang cukup jauh maka PT. PLN (Persero) Area Gorontalo bersama Pemerintah Provinsi Gorontalo mengambil langkah strategis yaitu dengan merencanakan pembangunan Gardu Induk pada area layanannya di Kabupaten Gorontalo Utara Kecamatan Anggrek.

Kualitas tegangan yang digunakan pelanggan listrik di daerah Sumalata–Tolinggula di Kabupaten Gorontalo Utara saat ini tidak memenuhi standar tingkat mutu pelayanan. Hal ini disebabkan oleh besaran nilai tegangan menengah (TM) yang mensuplai daerah tersebut mengalami penyusutan yang diakibatkan jauhnya jarak saluran udara tegangan menengah (SUTM) dari pusat daya ke lokasi beban [4]. Sebagai informasi daerah Sumalata–Tolinggula dilayani oleh penyulang LK.01 keluaran dari GH. Kwandang dengan panjang penyulang $\pm 78,18$ km, yang disuplai oleh penyulang utama LI.02. Penyulang LI.02 disuplai dari GH Isimu yang sumber daya utamanya berasal dari GI Isimu. Total jarak penyulang LK. 01 dari pusat daya (GI Isimu) ke daerah beban (Sumalata–Tolinggula) berjarak $\pm 190,57$ km dengan jenis dan ukuran penampang penghantar AAAC (Penyulang LK. 01) 70 mm². Konfigurasi sistem distribusi pada wilayah tersebut menggunakan model sistem radial. Jauhnya lokasi beban mengakibatkan nilai nominal tegangan menengah pada daerah tersebut ketika beban puncak mengalami penurunan sebesar ± 16 kV dengan layanan trafo distribusi pada tap 5, dengan kondisi tegangan rendah (TR) sampai pada tegangan minimal 170 Volt [5].

Tujuan Penelitian ini yaitu untuk menemukan solusi terbaik dalam upaya perbaikan nilai tegangan operasi yang memenuhi standar pelayanan distribusi listrik 20 kV dan untuk mengurangi rugi-rugi daya setelah rencana masuknya GI Anggrek pada sistem distribusi. Analisa aliran daya pada penelitian ini menggunakan metode *Newton-Raphson*. Penelitian ini disimulasikan pada Program ETAP 7.5.0 dengan menerapkan Tiga Skenario pemodelan sistem. Skenario-1 yaitu dengan melakukan Uprating Penghantar dari 70 mm² dirubah ke 95 mm², 120 mm², atau 150 mm² sebelum masuknya GI Anggrek. Skenario-2 yaitu melakukan rekonfigurasi jaringan setelah masuknya GI. Anggrek. Skenario-3 yaitu

dengan Rekonfigurasi jaringan setelah masuknya GI. Anggrek dan disertai uprating penghantar. Batasan pada penelitian ini yaitu tidak membahas biaya optimal aliran daya. Prinsip dasar rekonfigurasi adalah memindahkan suplai daya ke suatu beban suplai lainnya. Rekonfigurasi menyebabkan perubahan model jaringan yang berdampak pada perubahan aliran daya yang terjadi.

II. STUDI PUSTAKA

A. Penyaluran Daya

Sistem distribusi dapat menggunakan saluran udara (SUTM) maupun dengan saluran kabel bawah tanah (SKTM). Pemilihan antara saluran udara dan bawah tanah tergantung pada sejumlah faktor yang sangat berlainan, antara lain pentingnya kontinuitas pelayanan, arah perkembangan daerah, biaya pemeliharaan tahunan yang sama, biaya modal dan umur manfaat sistem tersebut. Pada jaringan sistem distribusi, konduktor penghantar harus memenuhi sifat-sifat sebagai berikut[6]:

1. Konduktivitas tinggi
2. Kekuatan tarik tinggi sehingga dapat menahan regangan
3. Memiliki gravitasi rendah sehingga berat konduktor menjadi rendah

B. Impedansi Saluran

Dalam menghitung jatuh tegangan, parameter resistansi (R) dan reaktansi (X) konduktor perlu diperhitungkan. Kombinasi antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi (Z) yang dinyatakan dalam satuan ohm. Impedansi dapat dihitung dengan rumus [7]:

$$Z = (R + jX) \quad (1)$$

maka,

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} \quad (2)$$

Tabel 1 menunjukkan nilai impedansi penghantar AAAC SPLN 64:1985[8].

Tabel 1. Impedansi penghantar AAAC sesuai dengan SPLN 64:1985

Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	KHA AAAC	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
16	2,256	105	2,0161+j0,403	2,1641+j1,691
25	2,820	135	1,2903+j0,389	1,4384+j1,677
35	3,337	170	0,9217+j0,379	1,0697+j1,666
50	3,988	210	0,6452+j0,367	0,7932+j1,655
70	4,719	255	0,4608+j0,357	0,6088+j1,644
95	5,497	320	0,3096+j0,344	0,4876+j1,632
120	6,179	365	0,2688+j0,337	0,4168+j1,632
150	6,908	425	0,2162+j0,330	0,3631+j1,618
185	7,672	490	0,1744+j0,323	0,3224+j1,611
240	8,738	585	0,1344+j0,315	0,2824+j1,603

C. Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi

Rugi-rugi daya adalah nilai daya yang hilang pada suatu jaringan dimana besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber dikurangi besarnya daya yang diterima pada perlengkapan hubung bagian utama[9].

$$\Delta P = I^2 R (\text{Watt}) \quad (3)$$

Besar rugi-rugi daya pada jaringan tergantung pada besarnya tahanan dan arus beban pada jaringan tersebut. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta P = 3I^2 R (\text{Watt}) \quad (4)$$

D. Jatuh Tegangan (Voltage Drop)

Perusahaan penyedia tenaga listrik berusaha untuk mencapai sebuah jaringan distribusi yang seimbang dalam rangka untuk meningkatkan kualitas tegangan secara merata terhadap seluruh beban pelanggan. Saluran distribusi memiliki tiga parameter yang dapat mempengaruhi kemampuannya sebagai bagian dari suatu sistem tenaga listrik, yaitu resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Saluran distribusi dapat direpresentasikan sebagai rangkaian ekuivalen dari saluran distribusi seperti pada Gambar 1[10]. Dimana V_s adalah tegangan di sisi pengirim (Volt), V_r adalah tegangan di sisi penerima (Volt), dan I adalah arus yang mengalir dalam saluran (Ampere)

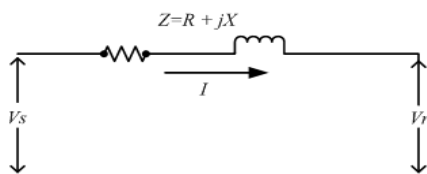
Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dengan tegangan ujung penerima. Jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus. Pada saluran bolak balik besar kecilnya jatuh tegangan tergantung dari impedansi dan admitansi saluran, beban dan faktor daya. Regulasi tegangan pada saluran distribusi dinyatakan dengan persamaan;

$$V_{\text{reg}} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

V_{reg} = Regulasi tegangan (%)

Pada umumnya beban yang terdapat pada sistem tenaga listrik bersifat resistif induktif. Beban ini akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Penyerapan daya reaktif yang diakibatkan oleh beban bersifat induktif akan menyebabkan terjadinya jatuh tegangan yang disuplai oleh pembangkit. Akibatnya nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda dengan nilai tegangan di sisi pengirim[10].



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen saluran distribusi.

Tabel 2. Standar Aturan Tegangan (SPLN 1:1995)

Tegangan Nominal (Volt)	Variasi Tegangan (%)
Tegangan Rendah 230/400	+5 , -10
Tegangan Menengah 20.000	+5 , -5
Tegangan Tinggi 150.000	+5 , -5
Teg. Ekstra Tinggi 500.000	+5 , -5

Persamaan jatuh tegangan pada penyaluran daya listrik dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta V = IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad (6)$$

Tegangan ujung,

$$\Delta V = V_0 - V_1 \quad (7)$$

Jatuh tegangan pada sistem distribusi tidak dapat dihindari namun dapat diminimalisir mencapai nilai toleransi yang diperbolehkan. Tabel 2 ditampilkan standar aturan tegangan pelayanan untuk masing-masing tegangan nominal[2]

Berikut beberapa cara untuk mengurangi rugi-rugi daya yaitu;

- Mengoptimalkan kapasitas saluran
- Mengoptimalkan kapasitas transformator, tempat dan penggunaannya.
- Menjaga tingkat tegangan pada sistem distribusi
- Pemasangan kapasitor parallel

E. Analisa Aliran Daya Metode Newton-Raphson

Analisa aliran daya digunakan untuk menghitung besarnya tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu saluran tenaga listrik pada keadaan operasi normal. Analisa aliran daya pada penelitian ini menggunakan metode *Newton-Raphson*. Metode ini lebih efisien dan praktis untuk digunakan pada sistem radial karena memiliki jumlah iterasi lebih sedikit untuk mencapai nilai konvergen. Dalam metode ini, persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar [9].

Dalam analisa aliran daya, bus-bus dikelompokkan dalam tiga klasifikasi yaitu; (1) *Slack Bus* atau *Swing Bus*, (2) *Bus Generator* (Bus PV) dan (3) *Bus Beban* (Bus PQ). Setiap bus terdapat empat besaran yaitu P, Q, V dan δ (sudut fasa). Pada analisa aliran daya setiap bus memiliki dua besaran yang telah ditentukan kemudian dua besaran lainnya akan dihitung. Apabila harga V dan δ ditentukan maka langkah selanjutnya iterasi awal untuk mencari nilai PV dan PQ[9].

- Persamaan daya aktif pada bus i , yaitu:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |V_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (8)$$

- Persamaan daya reaktif pada bus i , yaitu:

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |V_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (9)$$

3. Apabila $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ belum mencapai nilai konvergensi pada iterasi awal maka dilanjutkan dengan membentuk elemen-elemen matriks *Jacobian*.

4. Hitung nilai baru dari sudut fasa $\delta^{(k+1)}$ dan tegangan $|V^{(k+1)}|$.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (10)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (11)$$

5. Apabila telah mendapatkan nilai baru sudut fasa dan tegangan maka kembali ke proses iterasi selanjutnya.

6. Proses iterasi akan berhenti jika nilai konvergen (ϵ) sudah terpenuhi.

Daya yang mengalir dari bus i ke bus j diperoleh dengan persamaan:

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (12)$$

Sebaliknya, arus yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan :

$$I_{ji} = (V_j - V_i) Y_{ij} + V_j \frac{Y_{ji}}{2} \quad (13)$$

Sebaliknya juga, daya yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan:

$$S_{ji} = P_{ji} + jQ_{ji} = V_i I_{ij}^* \quad (14)$$

sehingga persamaan rugi-rugi daya pada saluran $i-j$ dituliskan:

$$SL_{ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (15)$$

dimana:

$|V_i^{(k+1)}|$ = Nilai magnitude tegangan baru.

$|V_i^{(k)}|$ = Nilai magnitude tegangan lama,

$\Delta |V_i^{(k)}|$ = Nilai koreksi tegangan,

$\Delta \delta_i^{(k+1)}$ = Sudut fasa tegangan baru,

$\delta_i^{(k)}$ = Sudut fasa tegangan lama

$\Delta Q_i^{(k)}$ = Nilai koreksi sudut fasa,

Prosedur penyelesaian proses iterasi akan berhenti jika nilai konvergen (ϵ) sudah terpenuhi.

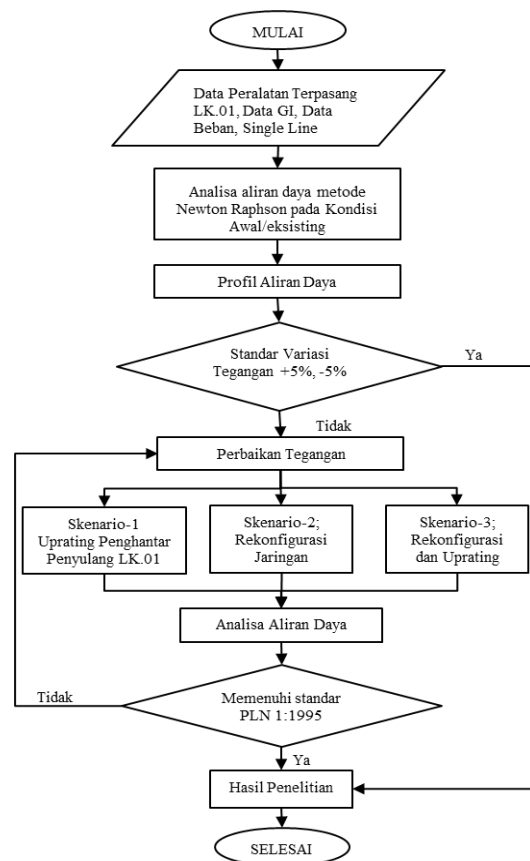
III. METODE

Objek penelitian ini adalah penyulang LK. 01 yang melayani beban dari GH Kwandang sampai dengan Ujung Kecamatan Tolinggula Kabupaten Gorontalo Utara, dimana pada penyulang tersebut mengalami jatuh tegangan yang diakibatkan jauhnya dari sumber

pembangkit daya listrik. Lokasi penelitian dilakukan pada wilayah kerja PLN Rayon Kwandang Area Gorontalo. Gambar 2 menunjukkan *Flowchart* Metode Penelitian ini.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu:

1. Tahap pertama dimulai dengan pengumpulan data awal berupa data teknis penyulang LK.01, diagram satu garis penyulang, jarak dan beban penyulang, jenis dan luas penampang penghantar, tingkat sadapan (tap) trafo yang terpasang, tegangan ujung penyulang (Sumalata-Tolinggula).
2. Tahap kedua; melakukan pemodelan sistem dan melakukan simulasi aliran daya kondisi awal (eksisting)
3. Tahap ketiga; memvalidasi hasil analisa aliran daya guna menemukan profil tegangan dan profil aliran daya kondisi awal penyulang. Pada hasil validasi menentukan kondisi standar variasi tegangan yang terjadi dalam batas +5% atau -5% dari tegangan nominalnya. Apabila tidak memenuhi standar maka dilanjutkan pada tahap skenario perbaikan tegangan.
4. Tahap keempat; Melakukan simulasi permodelan sistem dari ketiga skenario yang telah direncanakan dengan menggunakan data spesifikasi peralatan yang terpasang pada penyulang LK. 01. Analisa Aliran Daya menggunakan waktu beban puncak. Metode yang digunakan yaitu metode *Newton-Raphson*
5. Tahap kelima; Melakukan perbandingan hasil analisa aliran daya pada ketiga skenario. Skenario terbaik ditentukan dengan merujuk pada standar PLN 1:1995[2].



Gambar 2. Flowchart Metode Penelitian

Tabel 3. Jarak pelayanan penyulang yang menyuplai daerah Sumalata dan Tolinggula

Feeder	Daerah layanan	Ukuran Penghantar & Panjang Penghantar			Total
		70 mm ²	95 mm ²	150 mm ²	
		(KMS)	(KMS)	(KMS)	
IS.03	GI Isimu - GH Isimu			18,11	18,11
LI.02	GH Isimu - GH KWD		48,07		48,07
LK.01	GH KWD - Tolinggula	78,18			78,18
LK.02	GH KWD - LBS Auri	29,89			29,89

GH KWD : Gardu Hubung Kwandang

A. Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Isimu

Dari data observasi dapat diketahui jarak panjang saluran distribusi penyulang IS.03, LI.02, LK.01, dan LK.02 dapat dilihat pada Tabel 3 dan beban penyulang dari GI. Isimu yang menyuplai beban LK.01 ditunjukkan pada Tabel 4.

B. Aliran Daya Penyulang LK.01

Hal yang dapat diperoleh dari analisa aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan setiap bus, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran. Selain itu, analisa aliran daya dibutuhkan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari sistem tenaga listrik, mendapatkan informasi mengenai beban saluran distribusi, rugi-rugi daya pada saluran, dan menganalisis kondisi pembangkitan dan pembebanan. Gambar 3 menunjukkan gambar *Single Line*

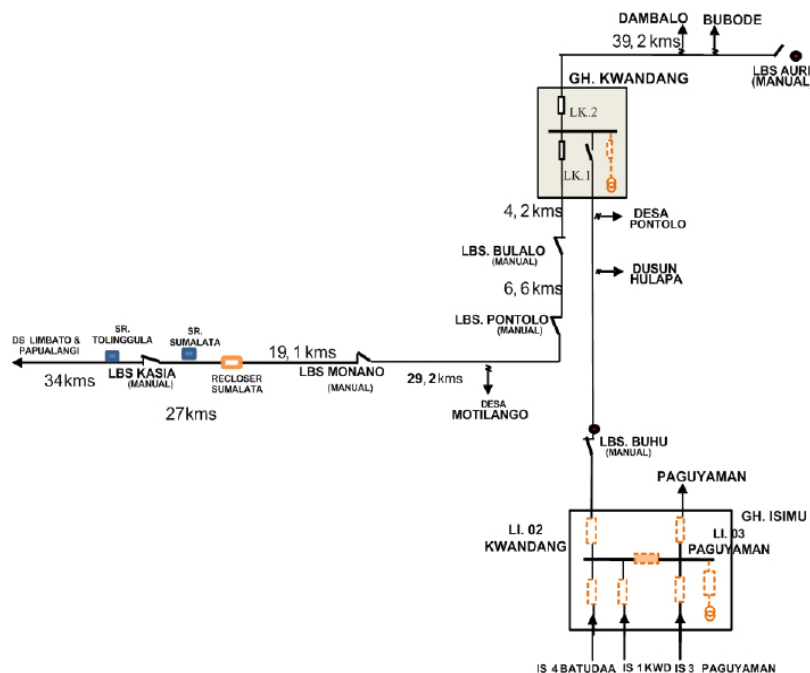
Tabel 4. Beban Gardu Induk Isimu

Feeder	Daerah Pelayanan	Jarak	Beban	R	X
		kms	Amper	Ohm	Ohm
IS.01	GI Isimu - GH Isimu	18,11	130	3.92	5.99
LI.02	GH Isimu - LBS Gunung Kapur	1,20	119	0.37	0.41
	LBS Gunung Kapur - LBS Buhu	16,87	103	5.22	5.82
	LBS Buhu - GH Kwandang	30,00	83	9.29	10.35
LK.01	GH Kwandang - LBS Monano	26,05	46	12.2	9.47
	LBS Monano - Recloser Sumalata	18,66	30	8.60	6.67
	Recloser Sumalata - LBS Kasia	14,88	19	6.86	5.32
	LBS Kasia - Tolinggula	18,59	6	8.57	6.64
LK.02	GH Kwandang - LBS Auri	29,89	12	13.7	10.68

LBS : Load Breaker Switch

Diagram Penyulang LK.01 Kondisi Eksisting.

Pada penyulang LK.01, sistem tenaga listrik dimodelkan dalam tiga kelompok bus. Ketiga kelompok bus tersebut yaitu *slack bus*, bus tegangan (bus PV), dan bus beban (bus PQ). Penentuan *slack bus* yaitu dengan memilih salah satu bus generator yang memiliki daya terbesar. Slack bus berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya aktif dan reaktif pada sistem, atau sebagai bus yang menanggung rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan[11]. Dalam penelitian ini *slack bus* ditempatkan pada bus Gardu Induk Isimu. Bus tegangan (PV) yaitu bus yang menjadi lokasi generator berada atau bus yang menjadi sumber tegangan.



Gambar 3. Single Line Diagram Penyulang LK.01 Kondisi Eksisting

Tabel 5. Besar nilai penurunan tegangan kondisi eksisting

	Daerah Pelayanan	V (kV)	% V Drop	Kondisi
1.	GI Isimu– GH Isimu	19,063	5%	Normal
2.	GH Isimu–LBS Gn.Kapur	18,999	5%	Normal
3.	LBS Gn.Kapur–LBS Buhu	18.248	9%	Under Voltage
4.	LBS Buhu–GH Kwandang	17,106	14%	Under Voltage
5.	GH Kwandang – LBS Monano	16,333	18%	Under Voltage
6.	LBS Monano – Rec Sumalata	16,052	20%	Under Voltage
7.	Rec. Sumalata – LBS Kasia	15,942	20%	Under Voltage
8.	LBS Kasia – Tolinggula	15,899	21%	Under Voltage
9.	GH Kwandang – LBS Auri	16,862	16%	Under Voltage

Dalam penelitian ini bus PV dipilih pada bus Gardu Induk Anggrek. Bus beban (PQ) yaitu bus lokasi beban daya listrik berada.

C. Profil Penyulang Kondisi Eksisting

Berikut ditampilkan Tabel 5. Hasil simulasi menggunakan program ETAP 7.5.0. untuk menentukan besarnya jatuh tegangan pada penyulang dalam kondisi eksisting.

Dari hasil simulasi kondisi eksisting penyulang LK.01 dan daerah layanan PLN Rayon Kwandang yang disuplai dari GI. Isimu ditampilkan lokasi ujung penyulang yaitu

daerah Tolinggula mengalami penurunan tegangan sebesar 21%. Jatuh tegangan suatu penyulang diusulkan perbaikan dengan menerapkan beberapa skenario yang ditetapkan pada penelitian ini yaitu;

1. Skenario 1 (SKE-1): Uprating luas penampang penghantar pada penyulang LK.01 (70mm² diuprating ke penghantar AAAC-S 95 mm², 120mm², dan 150mm²)
2. Skenario 2 (SKE-2): Rekonfigurasi penyulang LK.01 dengan masuknya GI Anggrek
3. Skenario 3 (SKE-3): Uprating penghantar dan rekonfigurasi penyulang LK.01 setelah masuknya GI Anggrek.

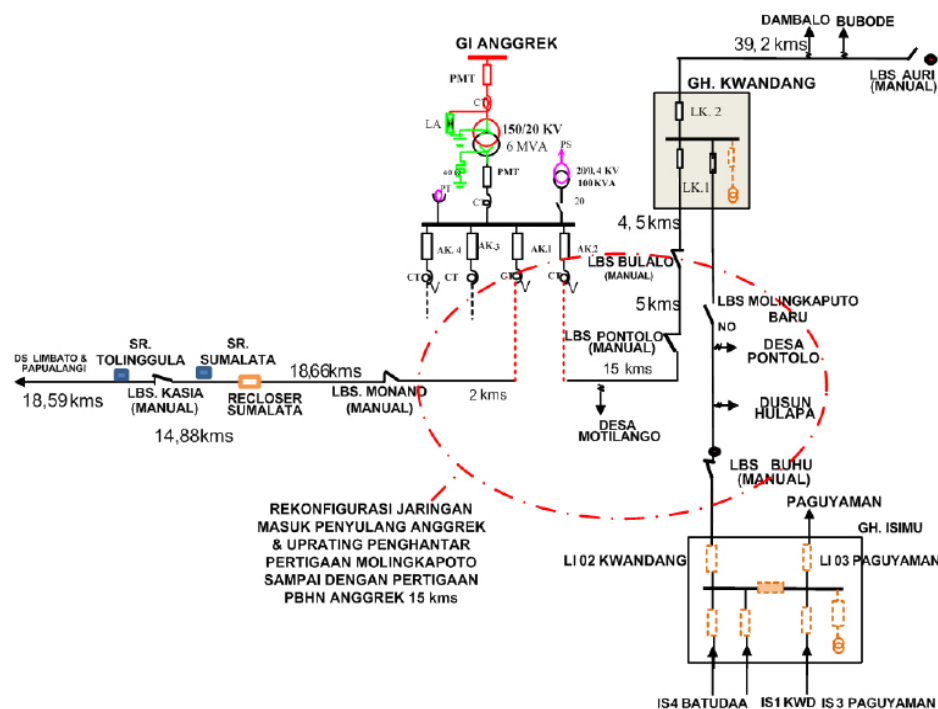
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Skenario Perbaikan Tegangan

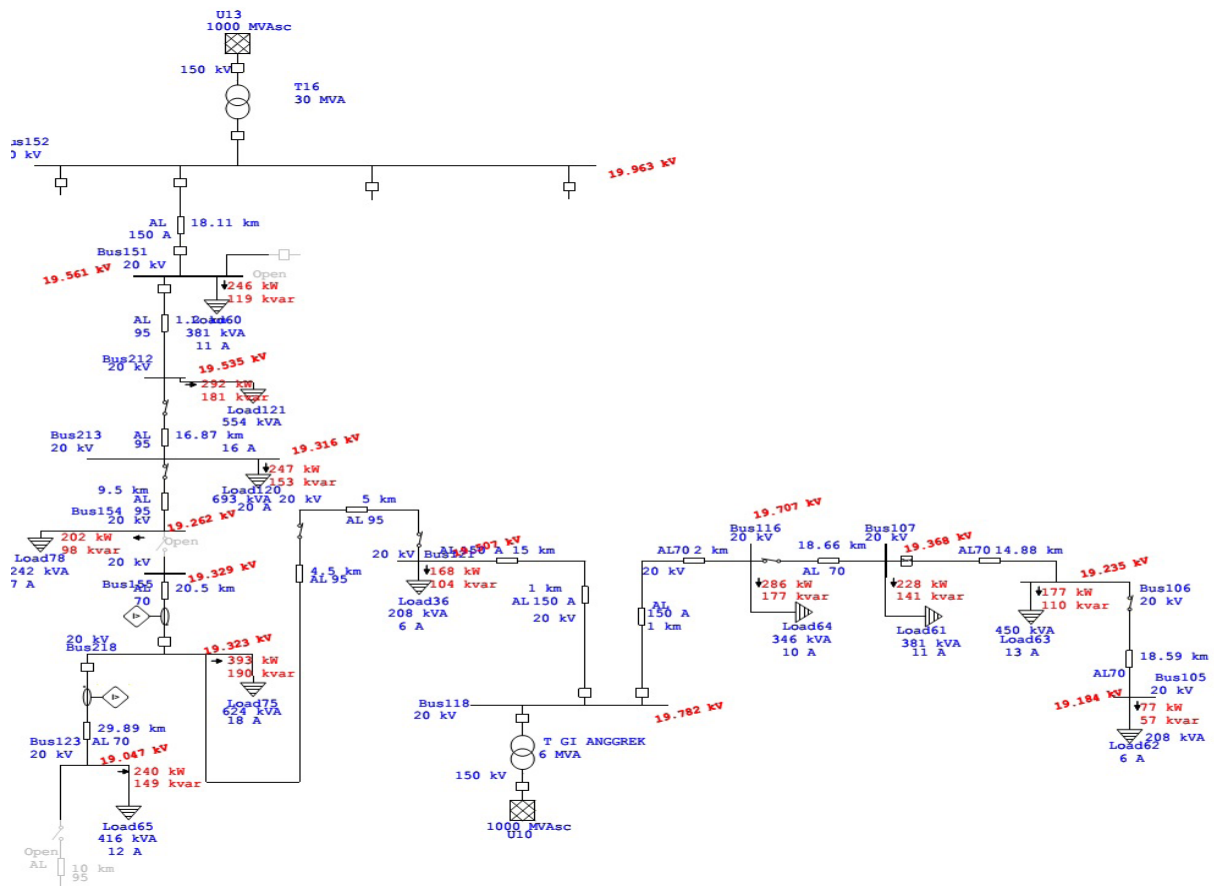
1. Skenario-1

Pada Skenario-1 dilakukan perbaikan tegangan dengan cara mengganti penghantar penyulang LK.01 yang terpasang pada daerah Anggrek menuju ke daerah Molingkapoto dengan luas penampang yang lebih besar. Skenario perencanaan penggantian penghantar di daerah ini dengan melihat potensi masuknya sumber tegangan dari GI. Anggrek, sehingga akan menjadi awal aliran daya menuju ke arah Kwandang. Penghantar yang terpasang sekarang adalah jenis AAAC 70 mm² kemudian diganti dengan jenis AAAC-S dengan luas penampang yang lebih besar (95, 120 atau 150 mm²).

Pada Gambar 6 dapat diamati bahwa Uprating Penghantar 150mm² menjadi kondisi yang terbaik. Pada skenario ini terjadi perubahan tegangan yaitu tegangan



Gambar 4. Single Line Diagram Penyulang LK.01 setelah masuknya Gardu Induk Anggrek

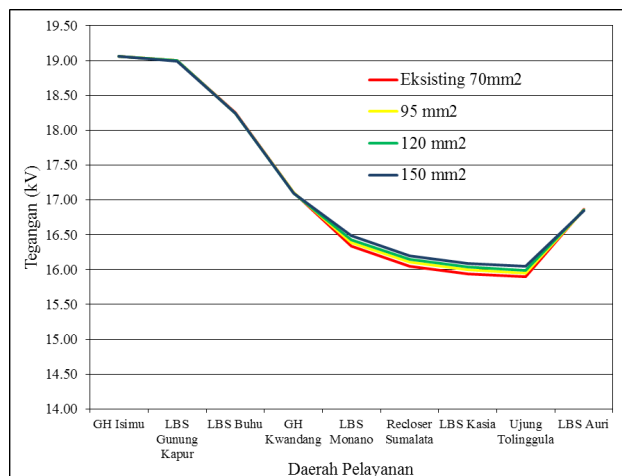


Gambar 5. Single Line Diagram Penyulang LK.01 setelah masuknya GI. Anggrek menggunakan ETAP 7.5.0

penyulang mengalami kenaikan namun masih belum signifikan. Dimana penurunan tegangan paling tertinggi masih mencapai 19,8% dari tegangan nominalnya. Kondisi ini masih dibawah standar operasional. Berikut ditampilkan gambar kurva tegangan skenario-1 pada kondisi eksisting 70mm²; 95mm²; 120mm²; dan 150mm².

2. Skenario-2

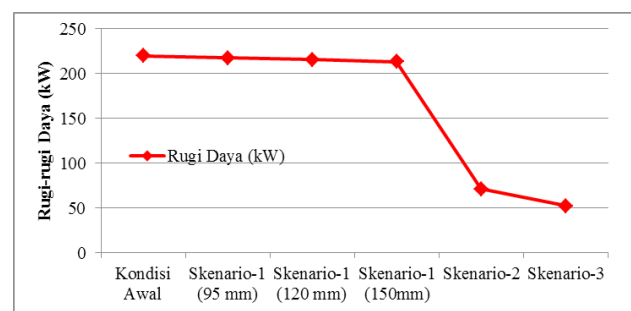
Skenario-2 ini dilakukan perbaikan tegangan dengan cara merubah aliran daya yang mensuplai wilayah kerja



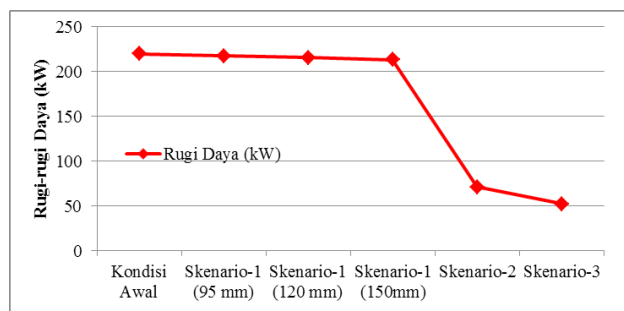
Gambar 6. Kurva perbaikan tegangan Skenario-1 uprating penghantar (Eksisting-70; 95;120;150mm²)

Rayon Kwandang (rekonfigurasi jaringan). Kelistrikan wilayah kerja Rayon Kwandang yang semula disuplai dari GI. Isimu dan untuk daerah Sumalata-Tolinggula harus melalui jarak $\pm 190,57$ kms yang mengakibatkan jatuh tegangan yang melebihi dari standar toleransi tegangan. Dengan masuknya GI. Anggrek maka dilakukan rekonfigurasi penyulang, yaitu memutus aliran daya daerah Sumalata – Tolinggula yang semula disuplai dari GI. Isimu kemudian direkonfigurasi suplai dayanya dari GI Anggrek dan menambahkan LBS Anggrek dalam posisi terbuka *Normaly-Open* (NO).

Dari Gambar 7 dapat diamati perbaikan tegangan masing-masing segmen cukup signifikan setelah masuknya GI. Anggrek sebagai suplai tegangan. Ketika penyulang disuplai dari GI. Anggrek penurunan nilai tegangan untuk



Gambar 7. Perbandingan jatuh tegangan antara skenario-1 (150mm²) dengan Skenario-2



Gambar 8. Perbandingan jatuh tegangan antara skenario-2 dengan Skenario-3

skenario-2 mencapai 8,8%. Namun pada skenario-2 ini masih terdapat tiga segmen yang tegangannya masih berada dibawah standar operasi yaitu LBS. Gunung Kapur–LBS. Buhu sebesar 5,1%, LBS Buhu–GH. Kwandang sebesar 7,5%, dan GH. Kwandang – LBS Auri sebesar 8,8%.

3. Skenario-3

Pada skenario-3 dengan metode Uprating penghantar (sesuai yang terbaik pada Skenario-1) dikombinasikan dengan rekonfigurasi jaringan (skenario-2). Pada skenario-3 ini merupakan gabungan skenario-1 dan skenario-2.

Dari hasil simulasi perbaikan tegangan pada skenario-3, maka ditampilkan Gambar 8 dan Tabel 6 perbandingan tegangan di masing-masing daerah pelayanan dengan melihat peralatan pembagi segmen yang ada pada penyulang tersebut. Dari Gambar 8 diatas dapat diamati bahwa kondisi penyulang mengalami kenaikan tegangan yang cukup signifikan setelah dilakukan skenario-3 yaitu pada GH. Kwandang dan LBS. Auri. Pada skenario-3 seluruh penyulang berada pada kondisi operasi normal yaitu dalam interval +5% dan -5% dari tegangan nominalnya 20kV. Jatuh tegangan tertinggi pada skenario-3 mencapai 4,8% pada segmen GH. Kwandang – LBS Auri.

B. Pembahasan Perbaikan Tegangan dan Rugi-Rugi Daya

Simulasi yang telah dilakukan pada pembahasan skenario masing-masing keadaan menghasilkan perbaikan

Tabel 6. Perbandingan nilai tegangan masing-masing skenario.

Daerah	Awal (KV)	SKE 1 #150mm2 (KV)	SKE 2 (KV)	SKE 3 (KV)
1. GH Isimu	19.06	19.06	19.41	19.56
2. LBS Gunung Kapur	19.00	19.00	19.37	19.54
3. LBS Buhu	18.25	18.24	18.99	19.32
4. GH Kwandang	17.11	17.09	18.51	19.32
5. LBS Monano	16.33	16.48	19.76	19.71
6. Recloser Sumalata	16.05	16.20	19.42	19.37
7. LBS Kasia	15.94	16.09	19.29	19.24
8. Ujung Tolinggula	15.89	16.05	19.24	19.18
9. LBS Auri	16.86	16.85	18.24	19.05

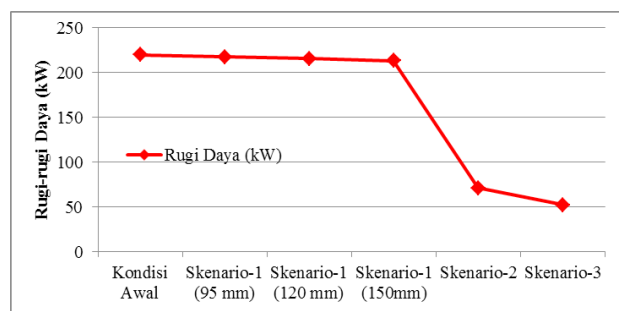
Tabel 7. Perbandingan rugi-rugi daya pada kondisi awal dengan masing-masing skenario

Skenario	Daya Total (kW)	Rugi-rugi daya	
		(kW)	(%)
1. Kondisi Awal	1835	219,4	11,96%
2. Skenario-1 (95 mm ²)	1836	217,1	11,82%
3. Skenario-1 (120 mm ²)	1840	215,3	11,70%
4. Skenario-1 (150 mm ²)	1844	212,9	11,55%
5. Skenario-2	2168	71,3	3,29%
6. Skenario-3	2556	52,4	2,05%

tegangan dan menurunkan rugi-rugi daya. Simulasi perbaikan tegangan melalui penggantian penghantar ke luas permukaan yang lebih besar guna memperkecil impedansi pada peralatan sampai dengan simulasi rekonfigurasi aliran daya pada penyulang. Dari berbagai kondisi yang telah dijelaskan maka besar rugi-rugi daya yang terjadi dibandingkan pada masing-masing berbagai kondisi skenario yang diusulkan. Perbandingan tersebut ditampilkan pada Tabel 7.

Aliran daya pada skenario-3 untuk beban wilayah kerja Rayon Kwandang akan disuplai melalui GI. Anggrek dengan menambahkan LBS. di daerah Molingkapoto untuk pola operasi sistem ketika terjadi gangguan. Pada skenario-3 ditambahkan satu penyulang di GI. Anggrek untuk mensuplai beban arah Kwandang sampai dengan penyulang LK.02 (LBS. Auri). Penghantar pada penyulang ini semula menggunakan AAAC 70 mm² diganti menjadi AAACS 150 mm² (Anggrek-Molingkapoto), untuk Molingkapoto-Kwandang dialihkan ke eksisting penyulang LI. 02. Penyulang LK. 01 yang semula mengarah ke wilayah Tolinggula berubah aliran dayanya menuju LBS Molingkapoto Baru (*Normaly Open*). Penambahan LBS Molingkapoto ini digunakan untuk operasi sistem apabila terjadi gangguan dari arah Anggrek maka pelanggan wilayah Kwandang tetap dapat disuplai dari GI Isimu (manufer beban).

Dapat diamati dari Gambar 9 diatas menunjukkan beberapa skenario yang telah disimulasikan menghasilkan nilai susut daya yang semakin berkurang. Pada skenario-1 dimana simulasi perbaikan tegangan dengan merubah ukuran penghantar ke ukuran yang lebih besar. Perbaikan nilai tegangan yang terbaik dengan merubah menjadi ukuran luas penampang penghantar sebesar 150 mm².



Gambar 9. Rugi daya yang ditimbulkan pada masing-masing skenario

Ditampilkan sebelumnya untuk tegangan di ujung penyulang LK.01 yang awalnya 15,89 kV menjadi 16,05 kV. Hal ini dikarenakan nilai impedansi untuk penghantar dengan ukuran luas penampang 150 mm² lebih kecil daripada yang berukuran 70, 95, dan 120 mm² yaitu 0,2162+j 0,3305. Pada kondisi ini total rugi-rugi daya menurun dari 219 kW menjadi 212,9 kW. Pada skenario-2 menunjukkan sistem mengalami penurunan rugi-rugi daya yang cukup signifikan yaitu sebesar 71,3 kW. Sedangkan untuk skenario-3 nilai rugi-rugi daya adalah sebesar 52,4kW. Dari hasil simulasi beberapa skenario dan penjelasan mengenai perbaikan tegangan yang disimulasikan, pengaruh masuknya GI Anggrek sebagai penyuplai tegangan di wilayah kerja Rayon Kwandang sangatlah membantu dalam perbaikan pelayanan di sisi teknis. Hal ini juga sangat menguntungkan untuk masyarakat karena dengan terpenuhinya standar nilai tegangan operasi, maka peralatan elektronik yang dimiliki oleh pelanggan dapat bekerja secara maksimal juga. Namun, masuknya GI. Anggrek pada sistem tanpa disertai dengan uprating penghantar maka perubahan kualitas tegangan masih belum dapat mencapai kondisi operasi standar pelayanan.

V. KESIMPULAN

Perbaikan nilai tegangan dengan mengganti penghantar ke ukuran penampang yang lebih besar yaitu 95, 120 dan 150 mm² dapat memperkecil jatuh tegangan yang terjadi, meskipun setelah dilakukan uprating penghantar jatuh tegangan masih terjadi dibawah standard operasi pelayanan. Rekonfigurasi jaringan pada penyulang LK.01 wilayah kerja PLN Rayon Kwandang dengan masuknya GI Anggrek yang ditampilkan pada skenario-2 dan skenario-3 dapat memperbaiki nilai tegangan diseluruh wilayah kerja PLN Rayon Kwandang. Dari perbaikan tegangan tersebut, maka simulasi skenario yang diusulkan dapat diterapkan untuk menurunkan jatuh tegangan pada penyulang. Susut

daya pada semua skenario menghasilkan susut daya yang semakin berkurang dari kondisi awalnya. Penurunan susut daya pada skenario-3 adalah kondisi yang terbaik diantara seluruh skenario yang digunakan. Penurunan susut daya terbaik pada skenario-3 disebabkan oleh pengaruh masuknya GI. Anggrek yang dekat dengan pusat beban dan nilai impedansi yang semakin kecil.

REFERENSI

- [1] M. Soleh, "Desain Sistem SCADA Untuk Peningkatan Pelayanan Pelanggan Dan Efisiensi Operasional Sistem Tenaga Listrik di APJ Cirebon," *IncomTech, Jurnal Telekomunikasi. dan Komputer*, vol. 5, no. 1, 2014.
- [2] SPLN 1:1995, *Standar-Standar Tegangan*. Jakarta.
- [3] [3] B. Winardi, "Analisa Keberadaan Gardu Induk Balapulang Terhadap Distribusi 20 KV Di Wilayah Kerja UPJ Balapulang PT. PLN (Persero) Jateng DIY," *Jurnal Transmisi.*, vol. 16, no. 4, 2014.
- [4] Waluyo, Soenarjo, and Akbar, "Perhitungan susut daya pada sistem distribusi tegangan menengah saluran udara dan kabel," *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS*, vol. 17, no. 3, 2007.
- [5] PT. PLN (Persero), *Laporan Semester PT. PLN Area Gorontalo*. 2015.
- [6] Aslimeri, Ganefri, and Zaedel Hamdi, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*, 2nd ed., vol. 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [7] Pabla A.S, *Electrical Power Distributiin*. Los Angles: Mc Graw-Hill Professional Engineering, 1998.
- [8] SPLN 64:1985, *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta, 1985.
- [9] C. Cekdin, *Sistem Tenaga Listrik*. Andi Yogyakarta, 2010.
- [10] T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, Second edi. New York: Mc Graw-Hill, 1986.
- [11] T. O. Damanik and Y. Siregar, "Penentuan Slack Bus Pada Jaringan Tenaga Listrik SUMBAGUT 150KV Menggunakan Metode Artificial Bee Colony," *Jurnal. Singuda Ensiko Dept.Tek. Elektro FT-USU*, vol. 13, no. 37, pp. 97–102, 2015.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

